

不同反应溶剂对鲫鱼蛋白-D-木糖体系 美拉德反应产物抗氧化活性的影响

章银良, 卢慢慢, 章馨元, 张陆燕, 庞丹洋

(郑州轻工业学院 食品与生物工程学院, 河南 郑州 450001)

摘要:采用4种不同反应溶剂(纯水、50%乙醇、50%甲醇、50%异丙醇)进行美拉德反应,以DPPH作为美拉德反应产物(MRPs)抗氧化活性的检测指标,从温度、时间、pH值、反应底物质量比4方面进行单因素试验,分别考查这4个因素对MRPs抗氧化活性的影响,最佳反应条件通过均匀试验选出。结果表明,4种溶剂对美拉德反应的影响趋势基本一致,对DPPH自由基清除率的高低顺序依次为:50%乙醇>50%甲醇>50%异丙醇>纯水;得到的最佳优化条件为:温度134℃,反应时间87min,反应初始pH=12.0,鲫鱼蛋白与D-木糖质量比为3:1,此时在50%乙醇作为反应溶剂的条件下的MRPs抗氧化活性最强,经计算得出对DPPH自由基的理论清除率为41.59%,实际试验清除率为40.72%,优化结果可靠。

关键词:美拉德反应;醇溶剂;鲫鱼蛋白;D-木糖;DPPH自由基;抗氧化活性

中图分类号:TS201.2 **文献标志码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.2095-476X.2015.5/6.005

Effects of the different reaction antioxidant activities of the Maillard reaction products in carp protein-D-xylose system

ZHANG Yin-liang, LU Man-man, ZHANG Xin-yuan, ZHANG Lu-yan, PANG Dan-yang
(College of Food and Bioengineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: Maillard reaction was made with four different reaction solvent (pure water, 50% ethanol, 50% methanol, 50% iso-propyl alcohol) with DPPH as MRPs antioxidant activity indicator. By single factor test, the effect of temperature, time, pH and concentration of reactants on MRPs oxidation activity was studied, and optimum technological conditions were obtained by uniform test. The results showed that the effect of Maillard reaction by four kinds of solvent had a similar trend, the order of DPPH radical-scavenging activity was 50% ethanol > 50% methanol > 50% iso-propyl alcohol > pure water. The best optimization condition: temperature 134℃, reaction time 87 min, reaction initial pH = 12.0, the quality ration of carp protein to D-xylose 3 : 1, under the condition of 50% ethanol as reaction solvent, MRPs had strongest antioxidant activity. The theory of DPPH free radical clearance rate was 41.59%, the actual test clearance rate was 40.72% by calculating, the optimization result was reliable.

Key words: Maillard reaction; alcohol solvent; carp protein; D-xylose; DPPH radical

0 引言

鲫鱼(学名: *Carassius auratus*, 简称鲫, 俗名鲫鱼子、土鲫、鲃鱼、月鲫仔、细头、寒鲃)是中国常见的淡水鱼。据测定,每百克黑鲫鱼肉中,蛋白质含量高达13 g,仅次于对虾;其所含的蛋白质品质优良、氨基酸种类较全面、易消化吸收,是心脑血管疾病、肝肾疾病患者的优质蛋白质来源。研究表明,鲫鱼肉中含有很多水溶性蛋白质、蛋白酶和人体所需的各种氨基酸,这些物质可增强心血管功能,降低血液黏稠度,促进血液循环。因此,常食鲫鱼对心脑血管疾病患者有一定的辅助治疗作用。

木糖对人体的作用不仅体现在加强双歧杆菌的增殖作用,还可提高免疫能力。当木糖与钙同时摄入时,会促进人体对钙的吸收,还能防止便秘。木糖在食品、饮料中作为无热量甜味剂使用,适用于肥胖及糖尿病患者。

美拉德反应是指含有氨基的氨基酸、蛋白质和肽类与含羰基的还原糖之间发生的一系列复杂的反应,多发生在食品的加工和储藏过程中,主要影响着食品的风味、色泽、安全及营养价值^[1]。美拉德反应多分为3个阶段:初级阶段主要生成不挥发性风味物质的前体成分;中级阶段主要生成醛类和酮类等物质;高级阶段主要发生醇醛的缩合及生成类黑精物质的聚合反应^[2-3]。美拉德反应产生的大量产物如类黑精等,美拉德反应产物(MRPs)不仅对食品的色泽和风味具有一定的影响,同时还具有降血压、抗氧化、抗诱变、抗增殖等生物活性和化学预防效应,尤其是类黑精素、还原酮及一些含N,S的杂环化合物,其抗氧化活性甚至可与常用的食品抗氧化剂BHA,BHT的相媲美^[4-10]。

对部分非水体系的美拉德反应的研究表明,溶剂的变化对美拉德反应会产生一定的影响。W. Bahes等^[11]研究发现,在体积比为1:1的水/乙醇中进行美拉德反应的葡萄糖-氯苯胺模式体系,葡糖胺重排产物可能会与乙醇结合形成O-乙基葡萄糖苷。V. A. Yaylayan^[12]发现葡萄糖-甘氨酸在体积比为1:2的水/甲醇溶剂体系MRPs中,得到了C₇H₁₁N₁O₄及葡萄糖的聚合物。E. J. Cho等^[13]在研究中对比了葡萄糖-甘氨酸模式体系分别在水溶剂和醇溶剂中的MRPs,结果表明,羟甲基糠醛存在于醇溶剂和水溶剂的褐变产物中,但2-羟甲基呋喃只存在于醇溶剂的褐变产物中。

长期以来,研究影响食品风味和色泽物质的美

拉德反应多在水溶剂中进行,而在醇溶剂中进行的美拉德反应也可能存在潜在的新的复合物。本文拟通过单因素试验比较出不同反应溶剂对鲫鱼蛋白-D-木糖组合的影响,选出较好的反应溶剂,并通过均匀试验优化出最佳的反应条件,为后期实际体系美拉德反应及其产物的研究提供一种全新的参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

主要材料与试剂:鲫鱼(蛋白质含量为13%),购于河南郑州高新区莲花市场;无水乙醇(分析纯),天津市富宇精细化工有限公司产;D-木糖,上海晶纯生化科技股份有限公司产;DPPH(1,1-二苯基-2-苦肼基自由基)(分析纯),南京奥多福尼生物科技有限公司产。

主要仪器:DF-101S集热式恒温加热磁力搅拌器(油浴锅),巩义市予华仪器有限责任公司产;CP214电子天平,奥豪斯(上海)仪器有限公司产;FE20实验室pH计,梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司产;UV-2102pc紫外可见分光光度计,尤尼柯(上海)仪器有限公司产。

1.2 试验方法

1.2.1 不同反应溶剂下美拉德反应液的制备 将鲫鱼(蛋白质含量13%)除去头、尾、内脏、皮、刺等,将纯鱼肉绞碎并换算成鲫鱼蛋白含量的量待用。单因素试验的具体步骤如下。

1) 温度组:准确称量鲫鱼蛋白(鲫鱼肉糜4.81 g)与D-木糖0.63 g(质量比1:1),分别用不同反应溶剂(纯水、50%乙醇、50%甲醇、50%异丙醇)进行溶解后调pH为7.0,并定容至25 mL;将反应液转移至圆底烧瓶中,密封严实,将恒温油浴锅调至50℃进行反应60 min,而后迅速将反应液置于冰水中冷却、过滤,取滤液待用;按上述方法依次在75℃,100℃,125℃,150℃和175℃条件下制备美拉德反应液,而后进行相关测定。

2) 时间组:准确称量鲫鱼蛋白(鲫鱼肉糜4.81 g)与D-木糖0.63 g(质量比1:1),分别用不同反应溶剂(纯水、50%乙醇、50%甲醇、50%异丙醇)将其溶解后调pH为7.0,并定容至25 mL;反应液转移至圆底烧瓶中,密封严实,将恒温油浴锅调至125℃反应30 min,而后迅速置于冰水中冷却、过滤,取滤液待用,并按上述方法依次加热60 min,90 min,120 min,150 min和180 min制备美拉德反

应液,而后进行相关测定。

3) pH 组:准确称量鲫鱼蛋白(鲫鱼肉糜 4.81 g)与 D-木糖 0.63 g(质量比 1:1)分别用不同反应溶剂(纯水、50%乙醇、50%甲醇、50%异丙醇)进行溶解后调 pH 为 4.0,并定容至 25 mL;将反应液转移至圆底烧瓶中,密封严实,将恒温油浴锅调至 125 °C 反应 60 min,而后迅速置于冰水中冷却、过滤,取滤液待用;按上述方法用 4 mol/L 的 HCl 溶液和 6 mol/L 的 NaOH 溶液依次调 pH 为 5.0,6.0,7.0,8.0,9.0,10.0,11.0,12.0,13.0 及 14.0 制备美拉德反应液,而后进行相关测定。

4) 比例组:准确称量鲫鱼蛋白(鲫鱼肉糜 4.81 g)与 D-木糖 0.63 g(质量比 1:1)分别用不同反应溶剂(纯水、50%乙醇、50%甲醇、50%异丙醇)进行溶解后调 pH 为 7.0,并定容至 25 mL;将反应液转移至圆底烧瓶中,密封严实,将恒温油浴锅调至 125 °C 反应 60 min,而后迅速将反应液置于冰水中冷却、过滤,取滤液待用;按上述方法依次称量鲫鱼蛋白和 D-木糖质量比为 1:3,1:2.5,1:2,1:1.5,1.5:1,2:1,2.5:1 和 3:1,制备美拉德反应液,而后进行相关测定^[14]。

1.2.2 DPPH 自由基清除能力的测定 参照文献[15]中测定 DPPH 清除能力的方法并稍作修改来评价不同溶剂下 MRP 的抗氧化活性。先准确称量 0.0118 g 的 DPPH 溶解于 100 mL 无水乙醇中,最终定容至 250 mL,配制成 0.12 mmol/L 的 DPPH 溶液;取 1 mL 美拉德反应液(50 倍稀释),加入 4 mL DPPH 溶液,摇匀,避光反应 30 min。然后用紫外可见分光光度计在 517 nm 的条件下测定其吸光度值,记为 A_s ;按上述方法用 1 mL 的去离子水代替 1 mL 的样品溶液(50 倍稀释)作为控制组,并在 517 nm 条件下测定其吸光度值,记为 A_c 。计算 DPPH 自由基清除率的方程式为

$$\text{DPPH 自由基清除率} = \frac{A_c - A_s}{A_c} \times 100\%$$

1.2.3 均匀试验因素水平设计 以 DPPH 自由基清除率为检测指标,采用 $U_6 * (6^4)$ ^[19] 均匀试验表,因素水平表见表 1。

2 结果与讨论

2.1 单因素试验

2.1.1 温度对不同反应溶剂下 MRP 抗氧化活性的影响 美拉德反应是典型的温度敏感型反应,糖和氨基酸的活性因温度的升高而增强,反应速度会

表 1 $U_6 * (6^4)$ 均匀试验因素水平表

水平	时间/min X_1	质量比(鲫鱼蛋白:D-木糖) X_2	pH X_3	温度/°C X_4
1	30(1)	2.5:1(2)	10(3)	175(6)
2	60(2)	1:3(4)	13(6)	150(5)
3	90(3)	1:2(6)	9(2)	125(4)
4	120(4)	2:1(1)	12(5)	100(3)
5	150(5)	3:1(3)	8(1)	75(2)
6	180(6)	1:2.5(5)	11(4)	50(1)

加快^[16-17],因此,MRPs 中的抗氧化活性物质在高温条件下更有利于生成。图 1 为不同反应溶剂下,改变温度对 MRP 的 DPPH 自由基清除率的影响。由图 1 可以看出,在加热前期,不同反应溶剂下制备的 MRP 对 DPPH 自由基的清除率均随着温度的升高而增加,温度增加到 150 °C 后,50%乙醇、纯水溶剂下的 MRP 对 DPPH 自由基的清除率有所下降,而 50%甲醇、50%异丙醇则仍呈缓慢增加的趋势。其中,50%乙醇溶剂下的 MRP 的清除率最高,表明其抗氧化活性最强。

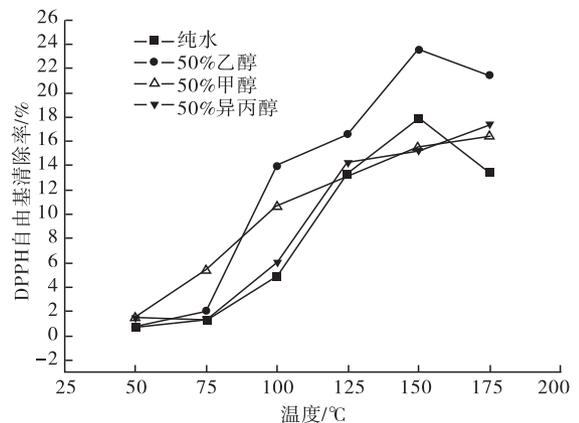


图 1 不同反应溶剂下,改变温度对 MRP 的 DPPH 自由基清除率的影响

2.1.2 时间对不同反应溶剂下 MRP 抗氧化活性的影响 图 2 为不同反应溶剂下,改变时间对 MRP 的 DPPH 自由基清除率的影响。由图 2 可以看出,不同溶剂下制备的 MRP 对 DPPH 自由基的清除率随着反应时间的延长均呈逐渐增加的趋势,且相互之间没有显著性差异。这说明反应时间对美拉德反应抗氧化活性物质的生成具有较强的影响力,适当地延长反应时间会使美拉德反应中间产物的积累及氨基酸态氮损失率下降。

2.1.3 pH 值对不同溶剂下 MRP 抗氧化活性的影响 图 3 为不同反应溶剂下,改变 pH 值对 MRP

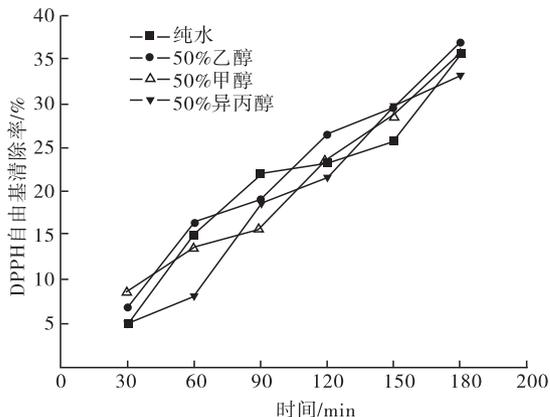


图2 不同反应溶剂下,改变时间对MRPs的DPPH自由基清除率的影响

的DPPH自由基清除率的影响.由图3可以看出,酸性和碱性条件均有利于美拉德反应抗氧化活性物质的生成.在碱性条件下,美拉德反应的速率比在酸性条件下快,可能是由于酸性条件更易促进形成美拉德反应特征风味的前体物质N-葡萄糖胺的水解,随着pH值的增加,羰-氨反应产生的吡嗪类物质的种类和数量也增加.碱性条件可催化羰氨缩合、糖降解等反应.4种不同反应溶剂生成的MRPs均在pH=12.0时抗氧化活性达到最强,且数值没有显著性差异.

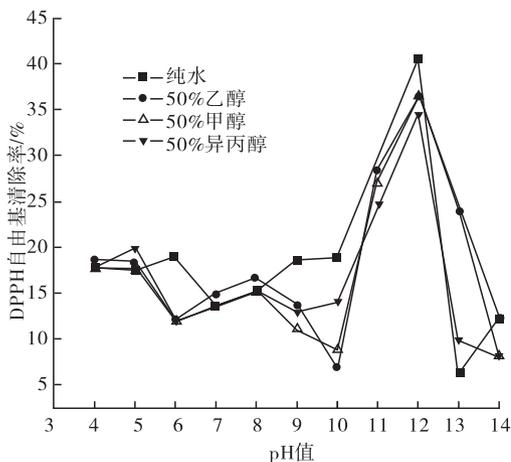


图3 不同反应溶剂下,改变pH值对MRPs的DPPH自由基清除率的影响

2.1.4 底物质量比对不同反应溶剂下MRPs抗氧化活性的影响 部分资料表明,单糖、吡喃糖、ARP喃糖比其他形式的糖更易脱水,随着温度的升高环状ARP脱水形成共轭产物,再次环化形成5,6,7环杂环化合物^[18].图4为不同反应溶剂下,改变反应底物质量比对MRPs的DPPH自由基清除率的影响.

由图4可以看出,随着鲫鱼蛋白含量的增加,MRPs抗氧化活性显著增加,在测定范围内,当鲫鱼蛋白与D-木糖的比例达到3:1时,MRPs对DPPH自由基的清除率达到最高.而MRPs抗氧化活性随着D-木糖含量的增加缓慢降低.由此可得出,鲫鱼蛋白含量相对于D-木糖而言,对不同反应溶剂下美拉德反应产物的生成更具有关键性的作用.而醇溶剂的增加对美拉德反应产物抗氧化活性物质的生成与纯水溶剂相比没有显著性差异,所起的作用不明显.

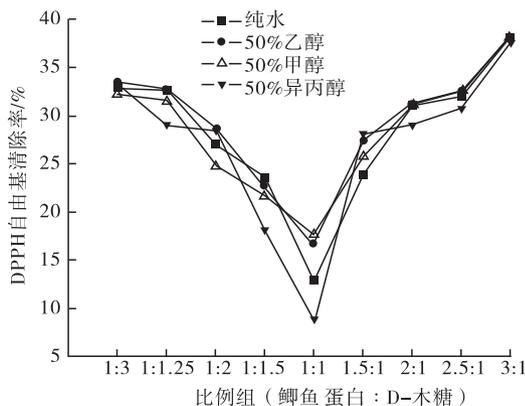


图4 不同反应溶剂下,改变反应底物质量比对MRPs的DPPH自由基清除率的影响

2.2 均匀试验

2.2.1 均匀试验结果 由上述单因素试验结果可知,50%乙醇条件下鲫鱼蛋白-D-木糖组合的MRPs的抗氧化活性略高于其他3种反应溶剂.因此,进行均匀试验优化鲫鱼蛋白-D-木糖组合在50%乙醇条件下优化出反应的最佳工艺条件.试验结果如表2所示.

表2 均匀试验结果

试验号	时间/min X_1	质量比(鲫鱼蛋白:D-木糖) X_2	pH X_3	温度/°C X_4	自由基清除率/% Y
1	30	2.5:1	10	175	10.97
2	60	1:3	13	150	20.14
3	90	1:2	9	125	31.72
4	120	2:1	12	100	38.29
5	150	3:1	8	75	2.84
6	180	1:2.5	11	50	2.08

采用Mathematics 4.0软件对均匀试验的软件分析结果反映了,在50%乙醇作为反应溶剂的条件下,对MRPs抗氧化活性具有极显著影响($P < 0.01$)的是pH值、具有交互作用的时间和pH值、具

有交互作用的温度和 pH 组合,对 MRP_s 抗氧化活性具有显著性影响($P < 0.05$)的是具有交互作用的质量比和温度(见表 3). 4 种单因素影响不同反应溶剂下 MRP_s 抗氧化活性的主次顺序依次为: pH(X_3) > 时间(X_1) > 温度(X_4) > 质量比(X_2).

表 3 均匀试验的软件分析结果表

项目	估计值	标准差	观察组	P 值
1	377.909	4.412 95	85.636 5	0.007 433 63
$X_1^2 X_3^{0.1}$	-0.007 682 38	0.000 088 452 5	-86.853 1	0.007 329 52
X_3^2	2.552 96	0.031 634 3	80.702 2	0.007 888 1
$X_2 X_4^2$	0.000 176 203	$8.552 14 \times 10^{-6}$	20.603 3	0.030 874 6
$X_3 X_4^{0.5}$	-4.740 29	0.059 383 1	-79.825 5	0.007 974 72

回归方程: $Y = 377.909 - 0.007 682 38 X_1^2 \times X_3^{0.1} + 2.552 96 X_3^2 + 0.000 176 203 X_2 \times X_4^2 - 4.740 29 X_3 \times X_4^{0.5}$. 经计算后得到的最佳优化条件为: 温度 134 °C, 反应时间 87 min, 反应初始 pH = 12.0, 鲫鱼蛋白与 D-木糖质量比 3:1, 此时在 50% 乙醇作为反应溶剂的条件下的美拉德反应产物抗氧化活性最强, 经计算得出对 DPPH 自由基的理论清除率为 41.59%, 实际试验清除率为 40.72%. 由此可得在均匀试验优化后的最优条件组合下制备的 MRP_s 具有很强的抗氧化活性, 优化结果可靠.

3 结果与讨论

本文采用 4 种不同反应溶剂(纯水、50% 乙醇、50% 甲醇、50% 异丙醇)进行美拉德反应, 以 DPPH 自由基作为 MRP_s 抗氧化活性的检测指标. 单因素试验结果表明, MRP_s 的抗氧化能力在不同反应溶剂下均随着温度的升高和时间的延长呈逐渐增强的趋势, 4 种不同反应溶剂下的 MRP_s 的抗氧化活性均在 pH 为 12.0 时达到最强, 反应底物鲫鱼蛋白的含量增加更有利于 MRP_s 的抗氧化能力的提高, 并得出在 50% 乙醇作为反应溶剂的条件下, MRP_s 抗氧化活性比其他 3 组高. 然后对 50% 乙醇作为反应溶剂的鲫鱼蛋白-D-木糖进行均匀试验, 以优化出最佳工艺条件, 结果表明: 4 种单因素影响不同反应溶剂下 MRP_s 抗氧化活性的主次顺序依次为: pH(X_3) > 时间(X_1) > 温度(X_4) > 质量比(X_2). 经回归方程得到最佳优化条件为: 温度 134 °C, 时间 87 min, pH = 12.0, 鲫鱼蛋白与 D-木糖质量比 3:1, 在此条件下 50% 乙醇反应溶剂中产生的 MRP_s 抗氧化活性最强, DPPH 自由基的理论清除率达到 41.59%, 实际消除率为 40.72%. 美拉德反应速率

在醇溶剂中大于在水溶剂中, 可能是由于糖在不同溶剂中溶解度不同以及醇溶剂可能会与 Amadori 重排产物化合形成 O-乙基葡萄糖苷、2-乙酰基-1-甲基吡等促进美拉德反应历程的物质. 对于美拉德反应的研究多集中在模拟体系及水溶剂中, 由于实际体系中和非水溶剂中的美拉德反应十分复杂, 故这类研究较少, 实际体系非水溶剂中 MRP_s 的分离、提取及抗氧化机理有待今后探究.

参考文献:

- [1] Fayle S E, Gerrard J A. The Maillard Reaction[M]. UK (Cambridge): The Royal Society of Chemistry, 2002.
- [2] 付莉, 李铁刚. 简述美拉德反应[J]. 食品科技, 2006, 31(12): 9.
- [3] Baynes J W, Thorpe S R. Role of oxidative stress in diabetic complications: a new perspective on an old paradigm [J]. 1999, 48(1): 1.
- [4] 贺湘, 于淑娟, 史文慧, 等. 脉冲电场强化天冬酰胺-果糖体系的研究[J]. 食品科学, 2011, 32(1): 78.
- [5] Rufia'n-Henares J A, Morales F J. Effect of in vitro enzymatic digestion on antioxidant activity of coffee melanoidins and fractions [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 55(24): 10016.
- [6] Somoza V. Five years of research on health risks and benefits of Maillard reaction products: an update [J]. Molecular Nutrition and Food Research, 2005, 49(7): 663.
- [7] 郭丽萍, 王凤舞, 刘翠翠. 木糖与甘氨酸美拉德反应产物抗氧化性能的研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(7): 79.
- [8] Wagner K H, Reichhold S, Koschutnig K, et al. The potential antimutagenic and antioxidant effects of Maillard reaction products used as "natural antibrowning" agents [J]. Molecular Nutrition and Food Research, 2007, 51(4): 496.
- [9] Hwanga I G, Kima H Y, Woob K S, et al. Biological activities of Maillard reaction products (MRPs) in a sugar-amino acid model system [J]. Food Chemistry, 2011, 126(1): 221.
- [10] Lingnert H, Hall G. Formation of Antioxidative Maillard Reaction Products during Food Processing, Amino-carbonyl Reactions in Food and Biological Systems[M]. Tokyo: Elsevier, 1986: 273.
- [11] Hortig W, Baltes W. Investigations of model systems of the Maillard reaction * 1 II. Pyrolysis-gas chromatography-mass spectrometry analysis of some non-volatile products of the reaction of glucose and 4-chloroaniline [J]. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 1981, 2(4): 321.

- tection of viable *Escherichia coli* in drinking water samples[J]. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 2015, 13(1):24.
- [26] Amaro Filho S M, Nicol A F. The utility of in situ detection, including RT in situ PCR of viral nucleic acid and the co-localization of the cytokine response to the study of viral pathogenesis[J]. *Methods*, 2010, 52(4):332.
- [27] 吴彩云, 蔡俊鹏, 杨汝德. 结合流式细胞仪检测技术的菌体原位 PCR 扩增[J]. *微生物学报*, 2004, 44(3):399.
- [28] 彭乃才. 环介导等温扩增技术检测食源性致病菌的研究进展[J]. *肉类工业*, 2014(5):32.
- [29] 张亚爽. LAMP 和 PCR 检测单核细胞增生性李斯特氏菌的研究[D]. 保定:河北农业大学, 2008.
- [30] 徐义刚, 李苏龙, 李丹丹, 等. 食品中金黄色葡萄球菌 DNA 环介导恒温扩增快速检测方法的建立与应用[J]. *中国农业科学*, 2010, 43(8):1655.
- [31] 陈传, 凌霄, 郭震, 等. LAMP 技术在食源性病原微生物检测中的应用[J]. *生命科学研究*, 2014, 18(2):140.
- [32] 孟勋. 生物芯片及其应用研究[J]. *中国科技信息*, 2015(3):35.
- [33] Stears R L, Martinsky T, Schena M. Trends in microarray analysis[J]. *Nature Medicine*, 2003, 9(1):140.
- [34] Zhang H, Zhang Y, Lin Y, et al. Ultrasensitive detection and rapid identification of multiple foodborne pathogens with the naked eyes[J]. *Biosensors and Bioelectronics*, 2015, 71:186.
- [35] 高兴, 辛文文, 高姗, 等. 11 种(株) 食源性细菌基因芯片检测方法的建立[J]. *生物技术通报*, 2013(12):123.
- [36] 孔金明. 生物芯片技术在食品安全领域的应用综述[J]. *郑州轻工业学院学报:自然科学版*, 2013, 28(1):1.
- [37] 王颖. 生物芯片技术及其应用研究[J]. *科学教育*, 2010, 16(1):91.
- [38] 王亚丽, 蔡阳, 刘韬, 等. 金黄色葡萄球菌液相芯片检测方法的建立及应用[J]. *中国生物制品学杂志*, 2012, 25(10):1383.
- [39] 尹俐. 生物芯片技术在食源性疾病诊断中的应用[J]. *疾病监测与控制杂志*, 2010, 4(8):457.

(上接第 26 页)

- [12] Yaylayan V A, Kaminsky A. Isolation and structural analysis of Maillard polymers: caramel and melanoidin formation in glycine/glucose model system [J]. *Food Chemistry*, 1998, 63(1):25.
- [13] Cho E J, Piao X L, Jang M H, et al. The effect of steaming on the free amino acid contents and antioxidant activity of *Panax ginseng*[J]. *Food Chemistry*, 2008, 107(2):876.
- [14] 章银良, 周文权. 均匀试验优化酪蛋白-木糖美拉德反应产物的抗氧化活性[J]. *食品工业*, 2013, 34(1):27.
- [15] Yen G C, Hsieh P P. Antioxidative activity and scavenging effects on active oxygen of xylose-lysine Maillard reaction products[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1995, 67(3):415.
- [16] Labuza, Theodore P. Maillard reactions in Chemistry, Food and Health[M]. UK(Cambridge):Royal Society of Chemistry, 1994.
- [17] O'Brien J, Nursten H E, Crabbe M J. et al. The Maillard Reaction in Foods and Medicine[M]. UK(Cambridge):Royal Society of Chemistry, 1998.
- [18] 陈华. 影响食品中美拉德反应的因素[J]. *四川食品与发酵*, 1998(3):21.
- [19] 章银良. 食品与生物试验设计与数据分析[M]. 北京:中国轻工业出版社, 2010.